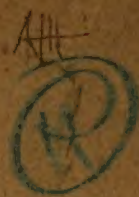


P. 000-2-4 BE REMOVED
FROM THE SCHOOL OF
GEOGRAPHY.

P. E. 10



La Pénéplaine

PAR

W. M. DAVIS

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ HARVARD, CAMBRIDGE (MASSACHUSETTS)

Extrait des

Annales de Géographie, tome VIII, 1899

(N^{os} 40 du 15 Juillet et 42 du 15 Novembre 1899)



Armand Colin & C^{ie}, Éditeurs

Paris, 5, Rue de Mézières

A. G. Habington

La Pénéplaine

PAR

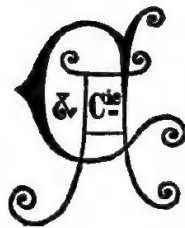
W. M. DAVIS

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ HARVARD. CAMBRIDGE (MASSACHUSETTS)

Extrait des

Annales de Géographie, tome VIII, 1899

(N° 40 du 15 Juillet et 42 du 15 Novembre 1899)



Armand Colin & C^{ie}, Éditeurs

Paris, 5, Rue de Mézières

LA PÉNÉPLAINE¹

(*Premier article*)

Depuis plus d'un demi-siècle, géologues et géographes se sont accoutumés à regarder certaines régions, dans lesquelles la ligne d'horizon, relativement uniforme, apparaît en désaccord marqué avec la structure, comme des plaines de dénudation soulevées et découpées. Lorsqu'en 1847 Ramsay en reconnut pour la première fois l'existence, dans le Sud du pays de Galles, il expliqua la plaine de dénudation par l'action des vagues de la mer. Mais à mesure qu'on se rendit mieux compte de l'importance de l'érosion subaérienne, on accorda à ce facteur une part de plus en plus large dans l'œuvre de la dénudation, et au cours des vingt dernières années, nombre d'observateurs sont arrivés à cette conclusion qu'il n'est pas nécessaire d'invoquer le rôle de la mer pour expliquer la naissance des surfaces de dénudation. L'usure des formes exposées à l'atmosphère doit, avec le temps, ramener une région quelconque à la condition d'une plaine, presque dépourvue d'accidents et voisine du niveau de la mer. Si, dans la suite, ils sont soulevés et plus ou moins découpés, les lambeaux d'une plaine de ce

1. Traduit par M. ZIMMERMANN. — L'article de M. DAVIS, écrit pour les *Annales*, a été également publié à l'usage du public américain dans *The American Geologist*, XXIII, avril 1899, p. 207-239, pl. VII. Des nécessités purement matérielles nous ont obligés à en ajourner la publication jusqu'à aujourd'hui. [N. d. l. R.].

genre présenteront tous les caractères jadis attribués aux plaines de dénudation marine. Le nom de *pénéplaine* fut proposé il y a une dizaine d'années pour désigner des surfaces de ce genre¹. En Europe, nombre de savants hésitent encore à renoncer au secours de l'action marine en tant que facteur essentiel de la transformation d'une surface accidentée de collines en une plaine doucement ondulée. Mais, comme cet aspect du problème a déjà été envisagé ailleurs², il ne me paraît pas nécessaire d'y revenir.

La possibilité de la formation des pénéplaines a été tout récemment mise en question par le professeur R. S. Tarr, de la *Cornell University* (Ithaca, N. Y.)³, et à ce propos je suis heureux d'offrir aux lecteurs des *Annales* un examen de son argumentation. Comme M. Tarr l'a dit très justement, le sujet est d'une trop grande importance pour que l'on s'en fasse une opinion ferme sans une critique serrée. Le ton sérieux, courtois et absolument correct de l'étude du professeur Tarr servira, je pense, d'exemple à tous ceux qui interviendront dans cette discussion.

Pour commencer, qu'il me soit permis de rectifier l'opinion qui veut que je sois le père de l'« idée de pénéplaine ». Le nom est de mon invention, et comme cela est arrivé plusieurs fois, l'introduction d'un nom défini pour une chose qu'on n'exprimait auparavant qu'en termes généraux a attiré l'attention sur la chose elle-même : témoin le mot *antécédent*, appliqué aux cours d'eau qui maintiennent leur tracé à l'encontre des montagnes en voie de soulèvement au-dessous d'eux. L'idée des cours d'eau antécédents a été conçue par plusieurs observateurs, qui ne leur appliquaient point d'épithète spéciale, mais elle devint populaire une fois que Powell eut proposé ce nom. D'ailleurs les idées d'*antécédence* et de *pénéplanation* étaient mûres à peu près vers le temps où on proposa ces désignations; c'est surtout pour cette raison, à ce qu'il me semble, que les cours d'eau antécédents ont été mentionnés si fréquemment dans les trente dernières années, et les pénéplaines dans la dernière décade.

Ce fut dans l'*Exploration of the Colorado River*, de Powell (1875), que je pris connaissance de l'idée de pénéplaine, en même temps que d'un grand nombre d'autres faits et d'autres principes importants. L'idée n'y est point énoncée catégoriquement, mais l'auteur, décrivant la surface unie de roches disloquées qui, dans le cañon du Colorado, forme le soubassement des couches carbonifères horizontales, écrit ceci : « Les agents subaériens ont enlevé une épaisseur de 10 000 pieds de roches, par un processus lent, mais ininterrompu,

1. *Amer. Journ. Science*, 3^d ser., XXXVII, 1889, p. 430.

2. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, VII, 1895, p. 377-398.

3. R. S. TARR, *The Peneplain* (*Amer. Geologist*, XXI, 1898, p. 351-370).

jusqu'à ce que la mer poussât de nouveau ses flots sur la contrée¹. » La surface uniformément dénudée est représentée comme le terme d'une longue période de temps durant laquelle la région s'est trouvée émergée. Dans un ouvrage plus récent du même auteur, on lit : « Les montagnes ne peuvent pas longtemps rester à l'état de montagnes : ce sont des formes topographiques éphémères. Géologiquement parlant, toutes les montagnes actuelles sont récentes; les anciennes montagnes ont disparu². » Et encore : « Quand la pente est très faible et se rapproche de l'horizontale, les énergies de transport sont également très faibles. La dénudation des derniers pouces d'épaisseur qui, dans un territoire étendu, subsistent encore au-dessus du niveau de la mer, demanderait un temps plus long qu'il n'en a fallu pour faire disparaître les milliers de pieds qui peut-être la surmontaient jadis, si toutefois la dénudation ne se trouvait dépendre que des agents mécaniques (charriage et flottage). Mais dans ce cas la désagrégation des roches par dissolution, et le transport des matières par les eaux courantes viennent en aide au jeu très lent de la dénudation mécanique, et arrivent à effectuer, en fin de compte, la partie essentielle de la tâche³. » Dutton rapporte à Powell le mérite d'avoir donné de la précision à l'idée de *niveau de base*, idée qui, d'ailleurs, a dû se présenter antérieurement à l'esprit de beaucoup de géologues : « Toute région, dit Dutton, tend à se rapprocher du niveau de base de l'érosion, et si un temps suffisant se trouve donné, toute région s'en rapproche de plus en plus, jusqu'à ce qu'enfin elle l'ait sensiblement atteint⁴. »

Dans la Grande-Bretagne, où règne, à en juger par les publications récentes, une croyance très générale aux plaines d'abrasion marine, un certain nombre de géologues, sans faire en aucune manière profession de foi publique et formelle, ont graduellement élargi la part qu'ils attribuaient à l'action des forces subaériennes; et finalement, comme quelques-uns d'entre eux m'en donnaient récemment l'assurance, la notion des pénéplaines leur est devenue, depuis quelques années, aussi familière qu'à la plupart des géologues américains; plusieurs même

1. J. W. POWELL, *Exploration of the Colorado River of the West*, p. 212.

2. J. W. POWELL, *Geology of the Uinta mountains*, 1876, p. 196.

3. *Ibid.*, p. 196.

4. C. E. DUTTON, *Tertiary History of the Grand Cañon District*, 1882 (*U. S. Geol. Survey Monogr.*, II, 1882, p. 76). — Je m'étais attendu à trouver l'expression d'opinions semblables dans la *Geology of the Henry Mountains*, de G. K. GILBERT, mais j'y découvre au contraire l'assertion suivante : « Il est évident que si les pentes raides sont sujettes à une usure plus rapide que les pentes douces, il y a tendance à supprimer les différences de pentes et à produire l'uniformité. La loi de l'uniformité des pentes se trouve ainsi en opposition avec la diversité des formes topographiques, et, si elle n'était pas contre-balancée par d'autres lois, elle réduirait finalement les bassins hydrographiques à l'état de plaines. Mais en réalité, elle n'est jamais libre d'exercer la plénitude de son action, car elle exige une uniformité de conditions qui n'existe nulle part. »

avaient certainement admise avant que le terme de « pénéplaine » eût été proposé. Je n'ai point étudié avec soin les opinions des auteurs européens sur la question, mais je sais que les pénéplaines subaériennes ont fait l'objet d'une description de Penck en 1887 sans qu'il y vît une nouveauté, et qu'elles ont été très clairement définies par de La Noë et de Margerie dans leur ouvrage sur *Les Formes du terrain* (1888).

I

Le professeur Tarr soutient que certaines régions, représentées comme des pénéplaines découpées, n'ont jamais réellement formé d'étendues planes à faible relief; qu'en soi la « pénéplanation » est un phénomène extrêmement invraisemblable; enfin que les prétendues pénéplaines, actuellement plus ou moins découpées, peuvent s'expliquer autrement. En un mot, les pénéplaines ne seraient ni *réelles*, ni *probables*, ni *nécessaires*. Dans notre réponse, nous grouperons plusieurs paragraphes sous ces trois chefs, que nous désignerons par A, B, C. Les numéros des pages se rapportent à l'article de M. Tarr.

A 1. — *Certaines régions ne présentent pas trace de pénéplanation.* — M. Tarr écrit qu'un observateur « placé sur la crête d'une des montagnes du Maine central, aurait peine à trouver [dans la ligne d'horizon] une uniformité suffisante pour que les yeux eux-mêmes y découvrirent l'apparence d'une surface nivelée » (P. 357).

Mais personne, que je sache, n'a jamais dit que les sommets montagneux du Maine représentassent les lambeaux d'une pénéplaine. Ces montagnes sont probablement des espèces de monadnocks, et c'est seulement la surface générale des hautes terres sur laquelle elles se dressent qui peut être regardée comme une pénéplaine soulevée et découpée, si du moins les caractères que j'ai notés près de Portland et sur divers autres points de la côte peuvent être étendus à l'intérieur. Dans ma pensée, les White Mountains ont été provisoirement classées comme un groupe de monadnocks; à la vérité, pour autant que j'ai pu le voir dans de courtes excursions, elles ne s'élèvent point sur un socle bien net, comparable aux plateaux de la Nouvelle-Angleterre situés plus au S., mais M. Philip Emerson, directeur de la Cobbett School à Lynn, m'apprend que dans ses excursions d'été, il a pu suivre une surface qu'il regarde comme le prolongement des plateaux plus méridionaux, autour des White Mountains, à l'E., au N. et à l'W. On ne possède pas actuellement sur le Nord de la Nouvelle-Angleterre de cartes ni d'études assez précises pour qu'il soit possible de puiser dans cette contrée des arguments sérieux pour ou contre la théorie des pénéplaines. La topographie y est généralement si rabo-

teuse qu'il se peut fort bien que l'interprétation ne s'applique pas à la plus grande partie du pays. Il n'est pas surprenant qu'un observateur dont l'attention se porte sur ce district montagneux, avec l'impression que les sommets y représentent les lambeaux d'une pénéplaine, en vienne à révoquer en doute une telle explication.

A 2. — *Les hauteurs de la Nouvelle-Angleterre et du Nord du New Jersey ne sont point d'une altitude uniforme.* — M. Tarr objecte qu'après un examen attentif des cartes topographiques de ces régions, on ne saurait admettre la concordance d'altitudes qu'on revendique pour leurs sommets. Comme réponse, voici ce que je puis dire : l'absence d'uniformité des hauteurs, — fait d'ailleurs absolument familier à ceux qui admettent l'idée de pénéplaine, — est en partie le résultat d'un gauchissement, ainsi qu'on l'examinera plus loin (A 4); pour le reste, le caractère accidenté des reliefs actuels n'est qu'un résultat naturel d'une pénéplanation imparfaite, suivie d'un découpage parvenu au stade qui correspond à la submaturité. L'étude des lambeaux d'une pénéplaine au moyen de cartes topographiques n'est pas une méthode nouvelle; elle a été employée pour le New Jersey en 1888-1889, et pour le Sud de la Nouvelle-Angleterre quelques années plus tard, mais, tout comme l'examen direct du terrain, elle semble amener des observateurs différents à des résultats différents. Si considérables que puissent être les inégalités d'altitude, l'étude assidue des cartes, la vue répétée des lignes de hauteurs du sommet de belvédères variés, me frappent beaucoup plus par la concordance que par la diversité des altitudes. Je ne puis pas admettre que la concordance apparente qui éclate d'un sommet à un autre ne soit qu'une illusion d'optique. Derrière cette apparence il y a un fait et une réalité.

Le caractère relativement uniforme des hauteurs du Connecticut a été nettement reconnu et fort bien décrit par Percival il y a plus d'un demi-siècle. Cet État se trouvant subdivisé par la bande déprimée où affleurent les couches triasiques, en deux moitiés occidentale et orientale, composées de roches primaires, ce géologue écrit : « Les deux régions primaires de l'E. et de l'W. peuvent être regardées comme de vastes plateaux se terminant d'ordinaire par un abrupt vers le bassin secondaire, mais s'abaissant d'une façon plus graduelle sur le Sound situé au S. Ces plateaux présentent, lorsqu'on les contemple d'un point élevé de leur surface, l'aspect d'un même niveau général, aux contours doucement ondulés; la vue y embrasse souvent de très grandes distances, n'y trouvant d'autre interruption que des sommets ou des crêtes isolées habituellement de faible étendue. Ces plateaux sont également coupés de vallées et de bassins, qui contribuent à faire ressortir la disposition unie de leur surface avec plus de netteté encore que ne le font les hauteurs. On se rendra compte que

cette disposition concorde très exactement avec celle des formations géologiques, et ce fait indique qu'elle a pour cause essentielle la forme que présentait à l'origine la surface de ces formations, et non point une dénudation ultérieure¹. »

« La partie primaire occidentale... forme, dans les limites de cet État, un large plateau d'une altitude si uniforme, que la vue s'étend, d'un grand nombre de points dominant faiblement sa surface, sur sa largeur tout entière, et sur une grande distance vers le N. et vers le S. » (P. 478.) « La partie primaire orientale, contemplée de ses points les plus élevés, présente le même aspect général que celle de l'W. : c'est une large étendue ondulée, de hauteur à peu près uniforme, et que contribuent à varier des sommets isolés. » (P. 482.) La conclusion de la première de ces trois citations est intéressante par son contraste avec les idées plus modernes.

Dans l'Est du Massachusetts, on découvrirait difficilement l'existence d'une pénéplaine soulevée d'après l'aspect seul des lieux; mais dans les parties centrale et occidentale de l'État, l'allure uniforme des hauteurs est d'ordinaire si nettement définie et si concordante que j'ai peine à concevoir pourquoi le professeur Tarr écrit : « Alors qu'auprès de la côte il y a un certain semblant d'égalité de niveau, il m'est absolument impossible de découvrir la moindre apparence d'uniformité dans les sections plus élevées de la Nouvelle-Angleterre. » (P. 358.) Car, si des collines du Berkshire, dans le Massachusetts septentrional, je porte la vue vers l'E., au travers des plaines de la vallée du Connecticut, la ligne d'horizon du plateau qui occupe le centre de l'État apparaît à mes yeux incroyablement unie, malgré son altitude supérieure à 1 000 pieds. Dès lors, il faut reconnaître que les mêmes faits exposés devant nous, tant sur le terrain que sur les cartes, nous suggèrent une description et une interprétation différentes : l'un de nous se montre frappé de la diversité des altitudes factières, l'autre, de leur concordance.

A 3. — *Les restes de certaines pénéplaines sont fragmentaires.* — 10 p. 100 de l'étendue primitive de la pénéplaine, dans le Connecticut, constituent une fraction trop petite, nous dit-on, pour servir de base à une reconstruction. Je ne puis voir dans cet argument une difficulté nouvelle et sérieuse. Les géologues sont souvent contraints de travailler sur des éléments fragmentaires : ils se tiennent pour satisfaits s'ils peuvent, par la coordination logique de ces fragments, restituer la structure complète. Sur la plus grande partie du globe, les affleurements rocheux occupent moins de 10 p. 100 — souvent même moins de 1 p. 100 — de la surface émergée. Et cependant aucun géo-

1. PERCIVAL, *Geology of Connecticut*, 1842, p. 477.

logue habitué au terrain n'hésitera à étaler la teinte d'une formation sur toute l'étendue d'une surface où, seuls, des affleurements épars fournissent des indices raisonnables de sa présence. L'étendue superficielle ainsi teintée n'est souvent qu'une faible partie de la masse entière que la formation représentait à l'origine : celle-ci peut avoir été plus ou moins recouverte par des dépôts ultérieurs ou détruite par l'érosion, mais on supplée, par induction, aux parties masquées ou érodées, et un « terrain » ainsi déterminé entre au nombre des éléments désormais indiscutés dont se compose l'histoire géologique. Ce qui importe, ce n'est donc pas tant une proportion relativement forte de faits constatés qu'une méthode rationnelle permettant de reconstruire l'ensemble invisible d'après les parties observées. Dans le cas présent, la pénéplaine découpée me paraît aller de pair avec nombre d'autres problèmes. Son morcellement est très naturel ; on réunit ses lambeaux séparés et on restitue la pénéplaine disparue par une argumentation tout à fait raisonnable en soi. L'objection qui nous est faite provient de ce que cette méthode va à l'encontre de certaines opinions qui, aux yeux du professeur Tarr, constituent des principes établis dans la science géologique. Ces opinions seront discutées plus loin (B 1, 2).

A 4. — *Certaines prétendues pénéplaines sont aujourd'hui inclinées.* — « Le soulèvement ou le gauchissement, écrit le professeur Tarr, est une hypothèse que rendent nécessaire les différences d'altitude qu'on observe dans la pénéplaine. Mais je ne saurais découvrir aucun fait qui la démontre, à moins d'admettre que la région tout entière se soit trouvée primitivement à l'état de pénéplaine. » (P. 358.) Ici nous sommes entièrement d'accord. J'ai insisté à plusieurs reprises sur le moyen qu'offrent les pénéplaines de mettre en lumière certains stades de l'histoire géologique qui échappent complètement aux méthodes géologiques ordinaires. Par exemple, c'est uniquement grâce aux lambeaux soulevés et inclinés d'une pénéplaine, visible dans les lignes de crête uniformes des Appalaches de Pennsylvanie, qu'on a pu déterminer le soulèvement post-crétacé de cette bande montagneuse. On considérerait auparavant les crêtes actuellement existantes comme de simples résidus, épargnés par la destruction, des anciens Appalaches, ce qui impliquait qu'aucun soulèvement de la région ne s'était produit depuis que les montagnes avaient pris naissance par écrasement et par plissement.

De même dans le Sud de la Nouvelle-Angleterre : on n'était pas en mesure de déterminer l'époque du soulèvement en conséquence duquel ont été creusées les vallées existantes, jusqu'à ce qu'on eût reconnu et daté la pénéplaine de la région faitière. Il n'était pas rare, il y a vingt ou trente ans, de rencontrer cette idée que les vallées

pussent être d'origine glaciaire, tant on était encore loin de comprendre le développement géographique de la région. Ceux qui croient à la réalité des pénéplaines, conjectureront avec autant de confiance un soulèvement, là où ils verront une pénéplaine fortement relevée et découpée, que les géologues de la fin du XVIII^e siècle inféraient un soulèvement de la rencontre de fossiles marins dans des roches stratifiées, à une grande hauteur au-dessus du niveau de la mer.

D'autre part, on ne semble guère autorisé à conclure que la théorie des pénéplaines perde sa valeur parce que certaines pénéplaines nous apparaissent actuellement soulevées suivant un plan incliné; et cette conclusion est cependant contenue dans l'argumentation du professeur Tarr (p. 359). On ne fait point une objection sérieuse à la notion des pénéplaines en disant que la crête des monts Kittatiny, dans le Nord-Ouest du New Jersey, est plus haute que la surface supérieure des plateaux qui occupent la partie centrale de cet État (p. 356); ou encore, que la crête des Palissades, plus à l'E., est plus basse. Il serait aussi extraordinaire de ne point rencontrer de pénéplaines inclinées que de ne point trouver de couches inclinées. Les pénéplaines affectées de failles ou de gauchissements sous l'influence des déformations de l'écorce ne présentent pas plus d'in vraisemblance que les terrains sédimentaires faillés et gauchis. J'en veux pour preuve les dislocations des plateaux entaillés par le grand cañon du Colorado : l'érosion y avait réduit la surface du sol à l'état d'étendue très plate avant que fussent intervenus le soulèvement et les accidents qui ont déterminé les altitudes et les formes actuelles. Il ne me semble donc pas topique d'invoquer comme argument contre la réalité des pénéplaines les inégalités de hauteur qu'on constate entre les diverses parties des pénéplaines probables du Sud de la Nouvelle-Angleterre et du Nord du New Jersey (p. 356, 357). S'il était prouvé que les pénéplaines ne peuvent pas prendre une allure inclinée, alors il est évident que l'on serait dans l'erreur lorsqu'on croirait trouver une pénéplaine présentant cette disposition, mais une telle preuve n'est pas près d'être fournie, et ainsi se trouve écarté le doute qu'on pourrait concevoir sur leur réalité, en ce qui concerne leur inclinaison éventuelle.

A 5. — *Objections fondées sur l'état fragmentaire de certaines pénéplaines (suite).* — Si les pénéplaines les mieux conservées ne l'étaient pas mieux que celles auxquelles le professeur Tarr a appliqué son examen quantitatif, la théorie de la pénéplanation pourrait peut-être se trouver en échec. Mais lorsqu'on envisage concurremment les exemples médiocres et les meilleurs qu'on puisse rencontrer, on trouve une série dont la gradation est si parfaite, du meilleur au pire, que la théorie me paraît inattaquable. Il est donc à propos d'exami-

ner maintenant quelques exemples de pénéplaines bien conservées.

La bande du Piedmont de Virginie a été décrite dans les dernières années par un certain nombre d'observateurs. Voici ce qu'écrit Mc Gee : « La plaine n'est pas d'une douceur monotone : ici elle ondule en mamelons gracieux, là elle plonge dans des gorges fluviales rocheuses, qui serpentent à travers toute sa largeur... Tel est l'aspect de la plaine du Piedmont en vue de Monticello, et telle est la province sur toute son étendue, depuis New-York jusqu'à l'Alabama...^{1.} » Les cours d'eau du Piedmont « se déchainent à travers des gorges encombrées de rochers... Tous les cours d'eau du Piedmont, petits ou grands, affouillent incessamment leurs lits^{2.} » La plaine « doit être regardée comme le socle d'une puissante masse de roches inclinées, dont le couronnement, sur une épaisseur impossible à évaluer, a été rasé et aplani^{3.} » Mc Gee est si bien convaincu que le district du Piedmont est



FIG. 1.

une véritable pénéplaine qu'il dit : « Celui qui hésite à admettre les faits [impliqués dans la pénéplanation], au point de vue des *volumes* et des *durées*, ne fait qu'avouer son impuissance à embrasser ce problème, et bien d'autres, de la géographie moderne^{4.} » Darton écrit : « Le Piedmont est une pénéplaine d'âge tertiaire.... la plaine a été profondément entaillée par les sillons que suivent les cours d'eau, mais sur les faîtes de partage de larges espaces ont été préservés^{5.} » Selon lui, cette pénéplaine (AB, fig. 1) se prolongerait à travers les couches profondes, BC, de la plaine côtière; il y aurait lieu de la distinguer d'une pénéplaine antérieure établie aux dépens des mêmes roches anciennes, et dont une partie, BE, se trouverait conservée sous les couches de la plaine côtière, tandis que le reste DB, aurait été dans ces parages détruit en grande partie par l'érosion. C'est sur cette première pénéplaine que la formation du Potomac, avec sa flore fossile terrestre, repose directement. Keith donne une description détaillée d'une partie de la plaine du Piedmont dans son mémoire intitulé : *Geology of the Catoclin Belt*⁶, et il examine ses rapports avec les différents termes de la série des terrains de la plaine côtière.

1. *National Geog. Mag.*, VII, 1896, p. 261.

2. *Ibid.*, p. 262.

3. *Ibid.*, p. 263.

4. *Ibid.*, p. 264.

5. N. H. DARTON, *Chicago Journ. Geol.*, II, 1894, p. 570.

6. A. KEITH, *14th Annual Report, U. S. Geol. Survey*, 1892-93, Part II, p. 293.

Quiconque voudra bien se reporter aux passages cités ci-dessus ou, mieux encore, prendre un aperçu de la région sur le terrain même trouvera qu'une portion notablement plus grande de la pénéplaine s'est conservée en Virginie que dans le cas de la Nouvelle-Angleterre ou du New Jersey; et cela est très naturel, car la plaine du Piedmont Virginien est de date nettement plus récente que la pénéplaine représentée par les hauteurs situées plus au N.; cette dernière correspond à la première pénéplaine, DBE, de la Virginie. Mais ce n'est pas seulement sa continuité relative qui fait de la plaine du Piedmont un excellent exemple : l'épaisseur des sols meubles qui en couronnent la surface, faisant contraste avec les parois rocheuses de ses vallées escarpées et étroites, fournit un témoignage du niveau jadis plus bas de la plaine et du soulèvement qui lui a donné son altitude actuelle, témoignage aussi concluant que les formes du plateau et des vallées. Pour apprécier ce point, on peut se permettre une courte digression.

La pénéplaine n'est qu'un élément dans la théorie des cycles géographiques. La succession systématique qui se produit dans le développement des formes du terrain au cours d'un cycle représente un principe beaucoup plus général et plus important que le développement tardif (*penultimate*) d'une pénéplaine, envisagé à part, car le premier renferme le second. L'un des éléments du cycle est le développement d'un état d'équilibre (*graded condition*) des cours d'eau, caractérisé par le fait qu'une certaine égalité se trouve établie entre la puissance d'un cours d'eau et le travail qu'il a à accomplir. Un autre élément, moins généralement reconnu, est le développement de cet état d'équilibre dans les couloirs et les nappes de matériaux désagrégés ou de dépôts meubles sur les pentes, là où il ne se produit aucun ruissellement d'eau courante. Tirant les conséquences de la proposition théorique ainsi énoncée, on obtient ce résultat : de même que l'état d'équilibre des cours d'eau se propage normalement de l'aval à l'amont, et finit par atteindre avec le temps la source de tous les tributaires, de même l'état d'équilibre des pentes recouvertes de dépôts meubles gagne avec le temps la surface totale d'une contrée; et la quantité de matériaux désagrégés fournis par l'altération des roches du sous-sol devient partout sensiblement égale à la quantité que tous les agents de transport en exercice peuvent entraîner. A un stade avancé du cycle, lorsque les pentes de la surface sont presque nulles, les agents de transport s'affaiblissent, et par suite la fourniture des matériaux désagrégés doit être lente. Alors ces matériaux finissent par s'accumuler sur de grandes épaisseurs¹, et les niveaux supérieurs

1. On ne saisit pas clairement, à première vue, pourquoi la profondeur du sol meuble irait en augmentant sur une pente parvenue à l'état d'équilibre, si la fourniture et le déblaiement des matériaux désagrégés se compensent à peu près exactement. En fait, la fourniture excède le déblaiement d'une quantité minime.

milliers de pieds d'épaisseur ont été déblayées par la dénudation. Cependant la surface, dans l'intervalle des montagnes, buttes et mesas, forme une véritable plaine, au sens géographique du mot. Cette plaine n'est pas absolument unie, mais elle décrit de larges ondulations, avec une ligne d'horizon presque aussi uniforme que celle de l'Océan lui-même. Le Missouri et ses affluents principaux se sont entaillé d'étroites vallées, à parois abruptes, atteignant plusieurs centaines de pieds au-dessous du niveau général du pays. Les petits cours d'eau latéraux continuent à affouiller des ravins à parois raides dans les versants des grandes vallées. Il ne semble pas possible d'éviter cette conclusion que la plaine supérieure se trouve actuellement en voie de destruction par l'action d'énergies qui n'ont guère pu accomplir leur œuvre à l'époque où les dernières touches étaient données à sa production. Ce fut sur cette pénéplaine, en 1883, que la nécessité d'admettre la dénudation de fin de période (*penultimate denudation*) s'imposa à moi pour la première fois avec force. Le Dr Waldemar Lindgren, actuellement de l'U. S. Geological Survey, qui m'accompagnait sur le terrain, peut témoigner avec quelle lenteur cette conviction s'empara de nos esprits; si je ne me trompe, il s'y rallia plus tôt que je ne fis moi-même¹.

Les vastes plaines de la Russie centrale, d'après la récente description de Philippson², présentent une surface doucement ondulée d'une altitude de 200 à 300 mètres, d'une allure continue dans l'ensemble, mais çà et là découpée par des vallées récentes, relativement étroites, à parois escarpées. La surface supérieure n'est pas une plaine structurale, car son niveau se prolonge à travers des formations d'âge très différent : c'est donc une plaine d'érosion. Au S., il y a une couverture partielle de loess, assez mince, qui d'ailleurs fait souvent défaut et laisse voir à nu sur de larges espaces la surface rocheuse. Dans le Nord, la couverture des dépôts erratiques est plus épaisse et plus continue; mais la surface supérieure est encore la continuation de la même plaine d'érosion que dans le Sud. On ne trouve sur cette grande plaine aucun témoignage de l'action marine; sa formation en conséquence est attribuée au déplacement latéral qui se produit dans le cours inférieur des grands fleuves; mais l'origine de ces fleuves est inconnue. La seule chose qu'on puisse dire, c'est qu'au temps où s'effectuait cette érosion, le massif russe a dû occuper un niveau de 200 m. plus bas qu'aujourd'hui. Les étroites vallées ont été entaillées depuis le soulèvement de la plaine, et ne sont pas antérieures à la période glaciaire. Cette pénéplaine est la plus vaste dont j'aie connaissance.

1. Une courte description de cette région a été publiée dans le volume XV des *Tenth U. S. Census Reports*.

2. A. PHILIPPSON, *Zeitschr. Ges. f. Erdk.* Berlin, XXXIII, 1898 p. 37-68 et 77-110.

A 6. — *Le prétendu désaccord entre la forme des pénéplaines et la structure du sous-sol n'est pas prouvé.* — Il est douteux, nous dit-on, qu'« après tout il y ait entre la topographie et la structure géologique une contradiction aussi grande qu'on l'a représenté » (p. 359), et, à l'appui de ce doute, on assure que dans les Hautes Terres du New Jersey on constate « très nettement un accord général entre la topographie présente et l'allure des masses minérales » (p. 360). Il y a quelque danger ici à ce que la discussion ne s'écarte vers des questions accessoires : cette objection qu'on oppose à la pénéplanation ne me paraît pas porter, en effet, contre les arguments qu'on avance en sa faveur.

Sans considérer les éléments de structure plus tendre que l'usure a actuellement ramenés au-dessous du niveau hypothétique de la pénéplaine, il me semble certain que la surface de la pénéplaine se trouve en discordance tranchée avec les éléments de nature plus résistante grâce auxquels ses lambeaux se sont conservés. Sans doute c'est une nécessité que la topographie *actuelle* d'une pénéplaine soulevée et découpée manifeste un accord entre sa forme et ses éléments structuraux : où pourrait-on, en effet, chercher plus raisonnablement cet accord que dans une région pareille, où le drainage a dû *s'adapter*? Mais c'est là un objet entièrement étranger à la présente discussion.

Des couches diverses de gneiss, de grès et de trapp, plongeant plus ou moins fort, sont coupées à leur affleurement, avec une régularité manifeste, par la surface légèrement inclinée que forme la pénéplaine du New Jersey septentrional. J'emprunte la description suivante de la région à l'un des rapports de Cook : « La chaîne des Highlands se compose d'un grand nombre de crêtes, en partie séparées par des vallées profondes, en partie rattachées les unes aux autres de manière à former des plateaux de faible étendue... Un trait caractéristique est l'absence de ce qu'on peut appeler la structure ou le paysage Alps. Il n'y a point de pics ni de cônes saillants. Le faite des crêtes est uni sur de longues distances, et l'altitude moyenne reste uniforme sur de vastes espaces. A ne regarder que les crêtes, et en imaginant que les vallées et les dépressions se trouvent comblées, la surface se rapprocherait d'un plan faiblement incliné vers le SE. et vers le SW¹. » C'est cette indifférence de la pénéplaine pour les divers éléments structuraux qu'elle coupe régulièrement qui a toujours servi d'argument principal à ceux qui ont cru voir des traces d'une contrée jadis basse là où se trouve actuellement un pays de hautes terres découpé, que l'on crût à l'abrasion marine ou à la dénudation subaérienne.

Il faut signaler ici certains traits caractéristiques sur lesquels on reviendra plus brièvement dans un paragraphe ultérieur (C 4).

1. *Ann. Rep. Geol. Surv. N. J.*, 1883, p. 27. Voir aussi p. 28, 29, 60, 61.

Si l'on descend l'Hudson de Haverstraw à Jersey City, on peut observer dans les Palissades la décroissance d'altitude que présente une crête formée par l'affleurement monoclinale d'une nappe de trapp intrusif compact : elle s'abaisse d'une hauteur d'environ 600 pieds au N. jusqu'au niveau de la mer au S., sans que l'épaisseur de la couche varie d'une façon notable. Les hauteurs schisteuses gneissiques qui s'élèvent à l'E. de l'Hudson présentent une descente semblable depuis les Highlands jusqu'au Long Island Sound. De l'East Rock comme belvédère, à New Haven (Connecticut), on peut voir la ligne de crête extraordinairement régulière du Mont Totoket, qui représente une nappe fortement déformée de trapp extrusif, s'abaissant lentement vers le S., et se prolonger par la ligne de crête un peu plus basse du Pond Mountain, dont la structure est analogue : la descente de ces lignes de crête s'accorde très exactement avec la descente générale des hauteurs cristallines situées dans le voisinage à l'E. La coordination systématique que trahissent ces lignes de crête, et nombre d'autres encore, suggèrent l'idée d'une pénéplaine, et la pénéplaine ainsi déduite se trouve en frappante discordance avec les éléments structuraux qu'elle recoupe. On pourrait objecter que cette discordance entre la forme et la structure permet d'imaginer une autre origine que la pénéplanation, mais la discordance elle-même semble hors de conteste.

A 7. — *Il n'est pas prouvé que les roches des monadnocks soient plus résistantes que celles de la pénéplaine adjacente.* — On nous oppose qu'il n'y a pas d'autre preuve de la résistance des roches qui forment les monadnocks que celle-ci : « La nécessité d'une telle explication, rendue nécessaire par le fait même qu'on admet l'existence de la pénéplaine. » (P. 358.)

En ce qui regarde mes travaux personnels, cette objection est sans doute juste. Je n'ai pas prêté une attention particulière à la nature des roches des monadnocks : aussi bien il a paru généralement raisonnable de leur attribuer une plus grande résistance à raison de leur forme. Mais dans la mesure où l'attention a été dirigée sur cette face du problème, les conjectures basées sur l'hypothèse des pénéplaines ont été confirmées par les données pétrographiques. Les buttes et les mesas qui surmontent les plaines du haut Missouri ont pour cause la présence d'épais massifs de roches ignées. Les monadnocks de la bande du Piedmont Virginien « sont sillonnés de bandes de schistes siliceux, de quartzites ou d'autres roches qui résistent bien à l'action des intempéries... tandis que les roches qui supportent les champs fertiles de la plaine sont des schistes plus tendres aisément désagrégés et déblayés¹ ». Dans la Géorgie, près d'Atlanta, la

1. Mc GEE, article cité, p. 262, 263.

région du Piedmont forme une pénéplaine très régulière assez fortement découpée, avec, sur les faîtes, d'épaisses couches de sol meuble surmontant les gneiss et les schistes. Le Stone Mountain, superbe monadnock de forme abrupte, se compose d'un granite homogène à grain fin, sans la moindre ressemblance avec les roches de la pénéplaine¹. Van Hise, décrivant les plateaux de roches anciennes du Wisconsin Nord-central, lesquelles sont fortement disloquées et très résistantes, dit qu'ils constituent une des pénéplaines les plus parfaites qu'il ait jamais eu la bonne fortune de voir : « Au-dessus de la vallée de la rivière Wisconsin, on voit une plaine presque parfaite... sur de grandes étendues, elle n'est découpée que faiblement par quelques-uns des cours d'eau tributaires du Wisconsin. » La plaine ainsi relevée est surmontée par le Big Rib hill, monadnock composé d'un quartzite extrêmement résistant².

Le plateau que forment les montagnes schisteuses de l'Allemagne occidentale constitue un admirable exemple de pénéplaine à larges ondulations; cette pénéplaine est actuellement l'objet d'une dissection très active de la part du Rhin, de la Moselle et de leurs affluents, qui se sont entaillés des vallées à parois escarpées au-dessous de sa surface unie. Le plateau est surmonté par plusieurs crêtes, ou monadnocks allongés; quelques-unes au moins se composent de quartzites résistants.

Dans la Nouvelle-Angleterre, le Monadnock qui sert de type est en grande partie composé, si ma mémoire ne me trompe pas, de schiste à andalousite, qui offre certainement les apparences d'une roche résistante. Cependant on doit le reconnaître volontiers : on n'a pas fait expérimentalement l'épreuve de sa résistance, par comparaison avec celle de nombreuses roches d'aspect également résistant qu'offre le plateau aux alentours de sa base. Il y a lieu d'ajouter qu'une épreuve démonstrative serait difficile à instituer : l'exposition aux intempéries pendant des générations entières serait le meilleur moyen de découvrir la manière dont une roche se comporte vis-à-vis de longues périodes d'altération atmosphérique.

Les objections qui viennent d'être examinées sont relatives à des exemples déterminés. Dans un prochain article, un ensemble d'objections, fondées sur des considérations générales, retiendra notre attention : celles qui tendent à faire croire que la formation ou l'existence des pénéplaines est invraisemblable ou même impossible.

1. PURINGTON, *Amer. Geologist*, XIV, 1894, p. 105-108.

2. *Science*, New Series, IV, 1896, p. 57-59.

LA PÉNÉPLAINE

(*Second article*).

II

B. 1. — *Il n'existe pas actuellement de pénéplaines dont l'altitude soit très voisine du niveau de base.* — « On ne connaît pas aujourd'hui, affirme M. Tarr, quelque partie du globe qu'on envisage, de pénéplaine étendue [qui ne soit pas soulevée et découpée] ; et cependant on prétend qu'il y a eu formation répétée de pénéplaines pendant diverses périodes du passé. » Ainsi donc, si l'on adopte la théorie de la pénéplaine, on est forcé d'admettre comme postulat fondamental, que, « durant une partie d'un passé déjà lointain, régnaient des conditions très différentes de celles qui prévalaient sur le globe dans les âges récents, et qui prévalent encore aujourd'hui » (p. 353, 354). Sur ce point je suis entièrement d'accord avec le professeur Tarr, bien que je préférasse peut-être l'expression « corollaire nécessaire » à celle de « postulat fondamental ».

Dans ma conception personnelle du problème, ce n'est pas en m'appuyant sur ce postulat comme sur un axiome fondamental, mais en tirant de faits bien établis des corollaires qui m'ont surpris moi-même, que j'en suis venu à admettre une différence de conditions entre le présent et certaines parties du passé. Dans mes cours supérieurs, j'ai souvent envisagé cet aspect de la question qui n'a pas encore reçu l'attention qu'il mérite.

Tout en admettant l'un et l'autre que la théorie des pénéplaines implique une différence entre le passé et le présent, nous ne sommes plus d'accord s'il s'agit d'en tirer des conséquences au point de vue du sort de la théorie elle-même. Selon M. Tarr, le passé, « dont on a reconstitué l'histoire par des méthodes purement stratigraphiques », se révèle si semblable au présent que la théorie des pénéplaines, impliquant un passé différent à certains égards du présent, doit être nécessairement erronée. J'estime au contraire que les méthodes stratigraphiques ne révèlent pas toujours un passé semblable de tous points au présent; et d'ailleurs, même dans les cas les plus favorables, les méthodes stratigraphiques ne sauraient fournir des révélations assez complètes pour nous dispenser de recourir, quand la chose est possible, aux témoignages d'ordre différent qui sont de nature à éclaircir les conditions du passé.

Il y a des parties du globe où des mouvements irréguliers de l'écorce terrestre n'ont cessé de se produire pendant toute une série de périodes géologiques, y compris l'époque actuelle. Les Alpes en sont un exemple. Dans une semblable région, l'étude des terrains secondaires et tertiaires ne saurait fournir aucun appui à la théorie de la pénéplanation. D'autre part, il y a des parties du globe qui sont demeurées en repos pendant de longs intervalles géologiques: telle la région du Wisconsin-Minnesota. Depuis le Cambrien jusqu'aux dépôts modernes, toutes les formations représentées y sont sensiblement horizontales et de faible épaisseur. Ici, les enseignements de la stratigraphie ne seraient pas incompatibles avec la doctrine de la pénéplanation. En fait, l'agitation ou le repos ne sont pas des caractères permanents de telle ou telle région: l'époque précambrienne témoigne d'une grande activité tectonique dans la région du Wisconsin-Minnesota, et l'on a des indices qui laissent croire à une période de repos relatif dans la région Alpine, immédiatement avant l'ère d'activité secondaire et tertiaire. Mais cette face du problème est trop vaste pour qu'on puisse l'examiner ici avec tout le soin nécessaire. Qu'il me suffise de dire que je suis entièrement d'accord avec Mc Gee pour croire que l'histoire du globe doit être déchiffrée aussi bien dans la dénudation que dans la sédimentation; à mon sens, si l'analyse des témoignages certains fournis par la dénudation conduit à nous représenter l'époque actuelle comme constituant dans l'histoire de la terre un chapitre spécial, différent à certains égards de maint chapitre du passé, il faut, sans nulle hésitation, ajouter cette conclusion à toutes celles qui sont déjà acquises, et dont l'ensemble forme précisément l'histoire de la planète.

B. 2. — *L'écorce terrestre ne saurait demeurer en repos assez longtemps pour permettre aux agents de dénudation de produire une péné-*

plaine. — M. Tarr fait remarquer en toute raison que, « d'après la théorie, les derniers stades de pénéplanation sont beaucoup plus lents que les stades antérieurs de dissection » (p. 354). Or, la stabilité ou l'instabilité du sol constitue un problème dont la solution dépendra de l'accord plus ou moins grand des faits observés avec les conséquences raisonnablement déduites de l'une ou de l'autre hypothèse. C'est donc, me semble-t-il, faire une pétition de principe que de déclarer, en entrant en matière, l'écorce terrestre trop instable pour que la production d'une pénéplaine soit possible (p. 362). Sans doute, cette stabilité ne s'est pas maintenue pendant un temps suffisant dans certaines régions, comme en font foi la nature variée et les discordances multiples des dépôts stratifiés, ou les reprises du creusement des vallées dans les Alpes. Mais nous trouvons le cas contraire réalisé en Virginie, où les témoignages d'ordre stratigraphique et d'ordre topographique sont également concluants.

On peut invoquer un autre exemple pris dans l'Ouest des États-Unis. Le sommet des plateaux qu'entaille le cañon du Colorado ne représente nullement une surface unie ; et cependant, qu'on supprime par la pensée les escarpements dus aux failles et les pentes monoclinales qui disloquent cette surface, les cônes volcaniques dont elle est bossuée et les cañons qui la découpent, il restera, à en juger par les descriptions si vivantes de Dutton, un relief trop peu accidenté pour que cette surface ne puisse pas recevoir le nom de pénéplaine. On en sera surtout convaincu si l'on réfléchit attentivement à l'énorme cube de matériaux déblayés dans sa préparation, ainsi que l'attestent les formidables falaises dues à l'érosion régressive qu'on observe au N. Il est vrai qu'une partie du sommet de ces plateaux semble correspondre à une plaine structurale : la surface du sol y coïncide à peu près exactement avec celle des couches carbonifères, qui sont assez résistantes. Mais, dans l'ensemble, on constate que la surface générale du plateau coupe en biais la tranche des couches, qui plongent vers le N. suivant une inclinaison très faible. Pour expliquer la formation de ce grand plateau dénudé, Dutton assure que les faits indiquent d'une façon concluante « une période de repos » à l'époque tertiaire : « au cours de cette période, la grande plate-forme carbonifère fut débarrassée par la dénudation de la plupart de ses inégalités, et nivelée de manière à former une étendue très plate » ¹. En supposant une période de soulèvement actif, durant laquelle le creusement des vallées aurait été ébauché, et une période de repos, au cours de laquelle l'érosion aurait fait disparaître toutes les saillies, « on obtiendrait précisément un pays semblable à celui qu'on observe aujourd'hui » [tel que la plate-forme carbonifère] ². Mais, comme la

1. *U. S. Geol. Survey, Monographs, II, p. 77.*

2. *U. S. Geol. Survey, Monographs, II, p. 225.*

plate-forme se trouve aujourd'hui en voie de destruction, grâce à l'élargissement du Grand Cañon et des cañons latéraux, on est contraint d'admettre, à la suite de la période de repos qui vit s'opérer le nivellement de la plate-forme, un relèvement très marqué. Dans toute cette analyse, les conclusions basées sur les phénomènes de dénudation sont tout aussi logiques et aussi légitimes que celles qui s'appuient, conformément à la méthode ordinaire, sur les phénomènes de sédimentation.

D'ailleurs, il n'a jamais été dans mon intention d'admettre un repos absolu de l'écorce terrestre durant un cycle de dénudation tout entier. Tout mouvement qui n'a pas pour effet une dissection quelque peu accentuée de la surface, au-dessous du niveau de la pénéplaine, est admissible. Les pénéplaines bien conservées, qui ne sont découpées actuellement que par des vallées récentes et étroites, fournissent une preuve certaine qu'aucun creusement notable n'a pu se produire au-dessous du niveau de la pénéplaine avant le soulèvement qui inaugura l'érosion des vallées actuelles. Même dans une région aussi accidentée que le Sud de la Nouvelle-Angleterre, la diminution graduelle du relief à mesure qu'on s'approche de la côte rend très probable cette hypothèse que les vallées profondes de l'intérieur n'ont pas été entaillées avant que la pénéplaine fût achevée dans ses grandes lignes. Toute autre hypothèse implique des oscillations particulières et des mouvements de bascule qui à mes yeux offrent une probabilité moindre que les conditions requises pour l'établissement d'une pénéplaine; on peut s'en rendre compte en traçant une série de diagrammes représentant les altitudes successives par lesquelles aurait passé le pays suivant les diverses hypothèses.

On a parfois fait remarquer que, lors d'un stade antérieur à la pénéplanation, mais postérieur au creusement de vallées semblables à celles du Sud de la Nouvelle-Angleterre, on réaliserait une économie de temps et de travail si l'on admettait une phase de dépression, suivie de l'abatage de toutes les montagnes dépassant encore le niveau de base. Les surfaces ainsi produites par suppression des sommets correspondraient, dans cette hypothèse, aux plateaux de la Nouvelle-Angleterre. Il est certain que si l'on envisage la *superficie* ramenée au niveau de base, cette hypothèse permet de faire une économie de travail, mais elle ne conduit pas à une économie sérieuse de temps, car, à pente et à structure identiques, il faut un temps aussi long, en somme, pour ramener au niveau de base un grand cône qu'un petit. Je vais plus loin : à moins de supposer un ensemble de conditions très particulières, au point de vue de l'altitude du pays avant, pendant et après un tel nivellement de ses montagnes, on ne saurait expliquer ainsi les formes actuelles du Sud de la Nouvelle-Angleterre. Au cours d'une submersion assez prolongée pour raser les montagnes supérieures au

niveau de base, la plupart des basses vallées se seraient trouvées comblées par des dépôts marins; lorsque ensuite le relèvement se serait produit, les cours d'eau auraient, en bien des cas, abandonné leurs anciennes vallées pour suivre un tracé nouveau, *surimposé*. Or, on ne trouve pas représentées, dans le Sud de la Nouvelle-Angleterre, les vallées étroites et récentes dont le creusement aurait été déterminé par ce nouveau tracé, pas plus qu'on n'y observe d'anciennes vallées renfermant des vestiges de dépôts marins.

Aussi bien, toute hypothèse ou toute circonstance susceptible de jouer un rôle dans la destruction d'un territoire émergé doit être bien accueillie par ceux qui croient à la dégradation des masses continentales et à leur abaissement jusqu'à une altitude voisine du niveau de base. Le déplacement latéral des grands fleuves, les incursions épisodiques de la mer, les changements de climat, tout ce qui peut contribuer en un mot à atteindre le but final, relève proprement de la théorie de la pénéplanation. Mais, pour moi, je pense que de tous ces facteurs, le plus important est encore la dénudation subaérienne. Et cette opinion ne se fonde pas sur une simple préférence; elle est basée sur la disposition des cours d'eau dans les pénéplaines soulevées et découpées¹. Très souvent, en effet, ces cours d'eau présentent des adaptations qui sont inexplicables dans l'hypothèse d'un tracé originel quelconque, au début du cycle actuel de dénudation; ces adaptations n'ont pu se réaliser, en majeure partie, que pendant un cycle antérieur de pénéplanation, et elles auraient disparu si les cours d'eau s'étaient déplacés latéralement ou si la mer avait déblayé par abrasion une notable partie du pays pendant les derniers stades de ce même cycle. Sans doute, il est parfaitement possible qu'une pénéplaine soit rabotée par la mer après avoir été nivelée sous l'action de l'atmosphère : il semble que tel ait été le cas pour la plaine cambrosilurienne du Nord-Ouest de l'Angleterre (voir B 3). Mais il n'est pas rationnel de supposer que *toute* pénéplaine soulevée et découpée ait été ainsi rabotée avant d'être soulevée; cette hypothèse n'en est pas moins en faveur auprès de certains géologues anglais.

Quant aux arguments basés sur l'extrême lenteur de la dénudation pendant une courte période d'observation (p. 355) ou pendant les temps post-glaciaires (p. 361), la seule réplique que je puisse faire, c'est que la durée d'un cycle géographique excède d'une façon si énorme celle de pareils intervalles, que ceux-ci ne sauraient être invoqués comme des termes de comparaison valables. On doit le reconnaître, la dénudation se trouve retardée quand un revêtement de matériaux désagrégés protège la roche contre les intempéries; mais je ne puis être d'accord avec De Luc, qui prétendait que les montagnes

1. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, VII, 1895, p. 377-398.

ainsi revêtues de débris sont pratiquement à l'abri de tout changement ultérieur, et je me rallierais plutôt à l'opinion défendue par Hutton, aux yeux de qui même la lente dénudation des versants recouverts de ce manteau détritique peut entraîner de grands changements dans leur forme. Il n'existe absolument aucun moyen de mesurer le temps que représente la dénudation ou la dissection des pénéplaines, sinon par l'œuvre accomplie. Ainsi, la question se trouve toujours ramenée à la réalité des pénéplaines : qu'il ait fallu beaucoup ou peu de temps pour leur donner naissance, c'est là un point secondaire. En tout cas, on n'est pas fondé à nous objecter aujourd'hui l'insuffisance des temps géologiques comme une raison pour ne pas croire à la possibilité des pénéplaines (p. 361). J'ai quelquefois entendu dire à un étudiant : « Il me semble que ce *drumlin* devrait être plus dégradé s'il était resté sans protection depuis la disparition de la nappe glaciaire ». Une telle opinion est évidemment fondée sur cette hypothèse préjudicielle que les temps post-glaciaires représentent un très long intervalle. Mais cet intervalle, comment peut-on le mesurer, sinon par les vicissitudes qu'a subies le *drumlin* au cours de sa durée ? Et comment pourrait-on évaluer la longueur d'une portion quelconque du passé, sinon par l'étude des événements qui se sont produits pendant la suite des âges qui constituent ce passé ?

B 3. — *Aucune partie du globe ne manifeste une tendance à se rapprocher de la condition d'une pénéplaine.* — M. Tarr soutient que, comme toutes les prétendues pénéplaines actuellement connues appartiennent au passé, et comme elles sont toutes plus ou moins fragmentaires, aucune partie du globe ne manifeste même une tendance à se rapprocher de la condition d'une pénéplaine (*even an approximation to this supposed condition*, p. 355). Voilà une affirmation qui peut sembler excessive, lorsqu'on songe à la configuration de districts tels que la bande du Piedmont, déjà citée plus haut. Cependant je veux bien laisser de côté les meilleurs exemples de pénéplaines, les plus achevées et les moins découpées ; considérons quelques exemples de pénéplaines qui ont été submergées, puis enterrées sous des sédiments discordants, après réduction de leur surface à un faible relief, et qui sont aujourd'hui plus ou moins visibles là où un soulèvement a déterminé le creusement de vallées dans la masse des terrains successifs. Sans doute, ces pénéplaines n'occupent pas leur position primitive ; elles représentent une très faible partie de la superficie actuelle du globe et elles ne sont accessibles à l'observation que dans une mesure assez restreinte ; mais elles fournissent, à ce qu'il me semble, une démonstration très convaincante de la réalité des plaines de dénudation, et elles suffisent certainement à faire justice de l'affirmation que je citais au début de ce paragraphe.

Les parois du Grand Cañon du Colorado offrent un excellent exemple de plaine de dénudation, exposée aux regards comme sur une coupe géologique. On la distingue nettement dans plusieurs des photographies de Jackson. Cette plaine est « le témoignage d'une longue période pendant laquelle la région était à l'état de terre ferme », pour répéter les termes de la citation de Powell; et voici comment Dutton la décrit : « La base du Carbonifère présente avec les roches sous-jacentes, que ce terrain recouvre en discordance, un contact dont l'allure n'est que faiblement accidentée par des collines et des arêtes. Dans la *Kaibab Division* du Grand Cañon, on peut observer... quelques bosses de couches siluriennes s'élevant plus haut que les grès durs, quartzitiques, qui forment la base du Carbonifère. Ce sont des collines paléozoïques, qui ont été ensevelies sous la masse croissante des sédiments. Mais elles sont de dimensions insignifiantes et dépassent rarement deux à trois cents pieds de hauteur¹. » Ce magnifique affleurement d'une discordance est en outre signalé comme un exemple local de l'érosion énergique d'un massif fort vaste, « submergé plus tard ». Comme le cañon occupe une position accidentelle par rapport à la plaine ensevelie, cette coupe unique nous fournit certainement une image fidèle des conditions réalisées sur une étendue beaucoup plus grande que celle qui est actuellement mise à nu.

Une plaine ensevelie remarquablement uniforme sert de soubassement à la puissante série des calcaires carbonifères du Nord-Ouest de l'Angleterre. Elle a été décrite et figurée bien des fois par les géologues anglais. Voici ce qu'on lit dans un rapport officiel : « Il est évident que ces bancs [carbonifères] se sont déposés sur un socle de roches siluriennes assez accidenté, car la ligne qui sépare les deux formations monte et descend brusquement, par endroits, de vingt à trente pieds, tandis que la stratification du calcaire se maintient à peu près horizontale. Ailleurs..., le grès silurien forme une bosse sur le flanc de laquelle du calcaire s'est déposé à l'W. en couches horizontales². » Ces inégalités du socle en question sont insignifiantes en comparaison des hauteurs que les couches siluriennes ont certainement atteintes après la période de plissement, car les coupes représentent la surface de contact comme une ligne presque droite et parallèle aux bancs calcaires; il est facile de constater le fait sur les flancs de diverses vallées, dans le haut Ribblesdale par exemple. Les contacts visibles dans certaines carrières à flanc de coteau sur le Moughton Fell sont extrêmement nets; l'un d'entre eux est bien reproduit, d'après une photographie, au frontispice de la *Geology of Yorkshire*, par Bird.

1. *U. S. Geol. Survey, Monographs*, II, p. 209.

2. *The Geology of the Country around Ingleborough* (*Mem. Geol. Survey of Great Britain*, 1890, p. 23).

Les épaisses dalles siluriennes sont si uniformément tranchées qu'une seule couche de calcaire s'étale tout unie par-dessus, d'une extrémité à l'autre de la carrière, sur une centaine de pieds ou davantage; la même falaise calcaire peut être suivie sur deux ou trois milles tout autour du Fell, au-dessus de l'affleurement supérieur des schistes. Le même horizon du Carbonifère repose sur le même substratum pendant des dizaines de miles. Comme il n'existe pas de sol meuble sur les roches solides de la plaine dénudée, et comme les couches qui la recouvrent sont des calcaires marins compacts (à l'exception de quelques pouces ou d'un pied ou deux de graviers formant des amas locaux), la surface du socle doit avoir été balayée et rabotée par la mer avant que les couches carbonifères aient commencé à se déposer. Il n'y a, semble-t-il, aucun moyen de déterminer la part relative du travail effectué par la mer, non plus que celle qu'avaient effectuée auparavant les agents subaériens; mais quel que soit ce rapport, il reste qu'une plaine de dénudation parfaitement nivelée, occupant des centaines de milles de superficie, avait pris la place d'une puissante chaîne de montagnes, avant que commençât le dépôt du calcaire carbonifère.

Goodchild a attiré l'attention à plusieurs reprises sur cette ancienne plaine de dénudation, ainsi que sur deux autres de date postérieure, situées dans le Nord-Ouest de l'Angleterre. « Lorsque, dit-il, les couches redressées du Cambrien et du Silurien se trouvèrent soumises à l'action destructive des vagues..., le terme de cette action fut la réduction de toute la surface du pays à un niveau général uniforme; il y avait, sans aucun doute, des dépressions et des saillies, exactement comme il existe des creux et des flots sur une plaine de dénudation moderne. Mais la surface, dans son ensemble, était sensiblement uniforme¹. » Dans le district des Lacs, les versants des montagnes ne sont très souvent que des portions ramenées au jour de cette ancienne plaine : les couches peu consistantes qui la recouvraient ont été déblayées². La plaine « s'étend, par endroits, avec des contours merveilleusement unis, recoupant la tranche des couches sur cinq miles au moins d'épaisseur » dans le seul district des Lacs³.

B 4. — *Les témoignages stratigraphiques sont contraires à l'existence des pénéplaines.* — La stabilité nécessaire à la pénéplauation exige, nous objecte-t-on, « des conditions différentes de celles qui prévalaient durant cette partie du passé dont on a reconstitué l'histoire par des méthodes purement stratigraphiques » (p. 355). Je ne suis pas bien sûr de ce que signifie au juste l'expression « méthodes purement stra-

1. *Trans. Cumberland and Westmoreland Assoc.*, XIII, 1888, p. 92, 93.

2. *Trans. Cumberland and Westmoreland Assoc.*, XIV, 1889, p. 76.

3. *Geologists' Assoc.*, London, 1889, p. 45.

tigraphiques »; il me semble cependant permis de regarder les deux exemples cités dans le paragraphe précédent comme s'appuyant, au moins en partie, sur des arguments d'ordre stratigraphique. Ces exemples se montraient, il est vrai, associés à des dépôts marins plus récents, et ainsi l'origine subaérienne de ces plaines ensevelies n'est pas certaine, bien qu'il ne puisse guère y avoir de doute en ce qui concerne la réalité d'existence des plaines elles-mêmes. Les exemples qui vont suivre s'appliquent mieux au point que nous discutons en ce moment, car ils font nettement ressortir l'action des forces subaériennes dans la production des pénéplaines.

Le Plateau central de la France est un fragment de l'ancienne chaîne hercynienne, constituée lors du ridement post-carbonifère, chaîne qui, jadis, s'étendait à travers l'Europe occidentale et centrale. A en juger par la vigueur de ses plissements, il est possible qu'elle ait, pendant un temps, rivalisé pour l'altitude avec les Alpes actuelles. Ces montagnes ont été fortement dénudées pendant l'ère secondaire, comme en témoigne l'allure transgressive des strates jurassiques et crétacées qui recouvrent, avec une faible inclinaison, les flancs du Plateau central et d'autres fragments montagneux; mais il est inutile, pour le moment, d'en dire davantage au sujet de ces portions ensevelies. Une dénudation ininterrompue réduisit en fin de compte le Plateau central lui-même à n'être plus qu'une surface d'un relief médiocre; ce fut sur une surface ainsi façonnée que plusieurs lacs tertiaires, remplis en partie d'eau saumâtre et communiquant avec la mer au N. et au S., déposèrent leurs sédiments. Depuis lors, la région a été fortement relevée, ses portions Sud et Est ont subi des dislocations irrégulières; l'action volcanique est venue ajouter un élément de variété à certaines parties de la surface; enfin la dénudation a effectué d'importants changements dans la masse complexe des terrains relevés. Mais la partie Nord-Ouest est restée à l'abri des dislocations et du volcanisme, et la surface de dénudation relevée s'y montre nettement caractérisée, sous l'aspect d'un plateau uni¹. S'il était dépouillé de ses cônes et de ses coulées volcaniques et s'il était dépourvu de failles, le plateau tout entier présenterait la forme d'un vaste plan incliné, offrant sa plus grande altitude au SE., et s'abaissant très doucement vers le NW². La partie Nord-Ouest du plateau, épargnée par l'action volcanique, et non recouverte par les formations lacustres qu'on rencontre ailleurs, présente une surface de roches cristallines qu'interrompent seulement les synclinaux aigus qui correspondent aux bassins houillers : les affleurements de ces

1. Résumé principalement d'après CH. DEPÉRET, *Orogénie du Plateau central* (*Ann. de Géog.*, 1, 1891-1892, p. 369-378).

2. M. BOULE, dans le *Dictionnaire Géog. et Admin. de la France*, de P. JOANNE, IV, 1896, p. 2538.

synclinaux sont coupés transversalement au ras du plateau, comme si tout l'ensemble avait été soumis à l'action d'un puissant rabot. La parfaite régularité des plateaux, entre la Creuse et Montluçon, nous représente exactement la forme que le Plateau central devait avoir sur toute son étendue vers le début de l'époque tertiaire, avant qu'il eût été relevé et disloqué : une érosion continuée pendant de longues périodes avait alors ramené la région à l'état de plaine, voisine du niveau de la mer, se trouvant ainsi avoir détruit une grande chaîne de montagnes désormais remplacée par une région basse, formée principalement de longues traînées de roches granitiques¹.

Ces extraits font voir clairement que les géologues français regardent le témoignage stratigraphique fourni par les dépôts lacustres tertiaires comme venant confirmer les conclusions déduites du seul examen des formes topographiques. Ces deux ordres de faits montrent, l'un comme l'autre, que le plateau actuel, soulevé, disloqué et découpé, était, à l'époque tertiaire, une plaine basse de dénudation.

Le massif de l'Ardenne, sur la limite de la France et de la Belgique, représente un autre fragment fortement dénudé de l'ancienne chaîne hercynienne. Il s'abaisse vers le S., où il est recouvert en discordance par les terrains mésozoïques et notamment par les couches crétacées qui offrent un intérêt particulier au point de vue qui nous occupe. Une bande de bassins houillers très productifs s'étend vers le SW., à partir de l'Ardenne, au-dessous du terrain crétacé. Dans un grand nombre de points, des puits ont été forés à travers le Crétacé jusqu'au terrain houiller; on a pu ainsi déterminer avec une grande précision la forme de la surface de dénudation aujourd'hui ensevelie. Le savant mémoire de Gosselet sur *l'Ardenne*² donne d'abondants renseignements tant sur les parties masquées que sur les parties découvertes de ces anciennes montagnes. La gravure de tête représente la vallée de la Meuse, entaillée dans le plateau, « partout nivelé à la même hauteur ». Un grand nombre de coupes dans le texte montrent les couches mésozoïques reposant sur les terrains paléozoïques redressés et dénudés; mais ordinairement, les dépôts de la base, au-dessous du Crétacé, ne sont pas d'origine marine. Il y a même sous le Jurassique, une argile ferrugineuse avec concrétions de limonite, que Gosselet considère comme étant d'origine terrestre³. Au-dessous des couches crétacées, le dépôt le plus fréquent est un lit d'argile pyriteuse noire avec débris de plantes qui passe pour représenter un sol végétal pré-crétacé. On a également constaté la pré-

1. CH. VÉLAIN, *Auvergne et Limousin. Géographie physique*, dans *l'Itinéraire Miriam*, Paris, 1897, p. 10.

2. J. GOSSELET, *L'Ardenne*, Paris, 1888, in-4.

3. GOSSELET, ouvrage cité, p. 802.

sence de formations fluviatiles et lacustres. Le calcaire carbonifère est souvent creusé de poches, et ces cavités contiennent des matériaux et des fossiles qui ne sont pas d'origine marine. Là où les dépôts intermédiaires font défaut, les roches anciennes se montrent perforées par des mollusques lithophages ou couvertes de coquilles d'huîtres et de serpules¹. Sur les plateaux, à une altitude considérable, et à une grande distance des affleurements principaux de la couverture mésozoïque discordante, on rencontre des lambeaux épars des dépôts crétacés et tertiaires, considérés comme antérieurs au relèvement et au découpage du plateau². M. Bertrand dit que la surface pré-crétacée ainsi recouverte est une plaine de dénudation, les irrégularités qu'elle présente aujourd'hui étant dues, au moins en grande partie, à des mouvements tardifs qui ont aussi affecté la craie sus-jacente³.

Les diverses parties des anciennes montagnes de l'Ardenne, recouvertes par les terrains triasique, liasique, jurassique, crétacé et tertiaire, ont été sans nul doute soumises à la dénudation pendant diverses périodes, et submergées à plusieurs reprises par la mer : il est fort possible que les plateaux découpés de l'époque actuelle soient devenus des pénéplaines à une date beaucoup plus tardive que le soulèvement des couches jurassiques. Peut-être entre ces deux termes existe-t-il le même rapport que celui que Darton a constaté en Virginie entre les deux divisions des roches anciennes dans la bande du Piedmont (voir 1^{er} article, p. 297, fig. 1, A B et B E). Les géologues français ne semblent point s'être spécialement occupés de cette question, ni dans les Ardennes ni dans le Plateau central. Mais, d'autre part, il semble incontestable, à en juger par les relations stratigraphiques des dépôts marins et terrestres, qu'il existe, dans le Nord de la France, une surface de dénudation de faible relief, aujourd'hui ensevelie en majeure partie et dont une faible portion seulement a été relevée et plus ou moins découpée.

La Bohême offre un autre exemple très bon à citer : les caractères en ont été résumés par Penck, dont nous reproduisons ici les conclusions : une grande chaîne de montagnes s'y élevait jadis, atteignant probablement une altitude de 5 000 m. Cette chaîne était déjà suffisamment dégradée, lors de l'invasion de la mer crétacée, pour ne plus former qu'une plaine relativement unie, car on trouve partout des formations d'eau douce sous les couches crétacées, d'ailleurs peu puissantes, qui la recouvrent encore aujourd'hui. Les mêmes condi

1. GOSSELET, ouvrage cité, p. 808-810.

2. *Ibid.*, p. 831. On trouvera des détails plus complets sur la nature et la distribution de ces dépôts dans GOSSELET, *Ann. Soc. Géol. du Nord*, VII, 1879, p. 100, et dans BARROIS, *Ibid.*, VI, 1879, p. 340.

3. *Ann. des Mines*, 9^e série, III, 1893, p. 36.

tions se reproduisent dans plusieurs autres régions de l'Europe, surtout là où l'on rencontre d'anciennes montagnes aujourd'hui rasées : leur premier revêtement consiste en formations terrestres, et c'est sur celles-ci que reposent les dépôts marins postérieurs. Il suit de là que les anciennes chaînes de l'Europe n'ont pas été dénudées par le ressac des anciennes mers, qui auraient rongé leur masse et en auraient consommé peu à peu l'usure : avant que la mer poussât ses flots sur ces antiques montagnes, elles se trouvaient déjà aplanies et revêtues d'une couverture de formations terrestres ¹.

Ainsi donc, s'il peut être vrai qu'il n'y ait point aujourd'hui de pénéplaines de quelque étendue dont l'altitude soit voisine du niveau marin qui en a réglé la dénudation, les exemples cités dans ce paragraphe et dans le précédent ne m'en paraissent pas moins démontrer que le globe offre un grand nombre de cas qui se rapprochent de la condition des pénéplaines, puisqu'il conserve plusieurs types excellents de pénéplaines fossiles ; c'est ce dont la méthode stratigraphique comme la méthode topographique nous ont fourni des témoignages nombreux et concordants.

B 5. — *Les critiques formulées par M. Tarr s'appliquent aux plaines d'abrasion marine aussi bien qu'aux plaines de dénudation subaérienne.* — Il est à propos de faire remarquer que, si l'on adopte les conclusions de M. Tarr, on devra chercher une interprétation nouvelle pour tous les districts qui, sur divers points du globe, ont été regardés depuis un demi-siècle, par les géologues et les géographes, comme des plaines de dénudation marine (ou d'abrasion) soulevées et découpées. Depuis que cette notion a été introduite par Ramsay, dans sa description du Sud du pays de Galles, on s'est toujours appuyé, comme fait fondamental, sur l'existence d'une ligne d'horizon uniforme, en désaccord avec la structure. Aussi m'a-t-il semblé que M. Tarr, dans son article, aurait pu arrêter un peu plus son attention sur d'autres personnes que les seuls partisans de la pénéplaine ou de l'influence subaérienne ; et c'est pour cette même raison que j'ai pris la liberté de mentionner ici certaines régions dénudées, considérées comme des plaines de dénudation marine par les auteurs que j'ai invoqués. Les partisans de l'action marine et ceux de l'action subaérienne ne sont pas d'accord sur l'agent susceptible de réduire une région montagneuse à l'état de plaine presque dénuée d'accidents et située à une altitude très voisine du niveau marin, soit au-dessous, soit au-dessus ; mais ils sont unanimes à reconnaître la nécessité de semblables plaines lorsque des plateaux à ligne d'horizon uniforme se présentent dans des régions de structure bouleversée. Toutes les plaines de ce genre sont

1. A. PENCK, *Ueber Denudation der Erdoberfläche*, Wien, 1887, p. 23, 24.

regardées comme imaginaires par l'argumentation de M. Tarr : bien qu'il dise peu de chose des plaines de dénudation marine, et fixe à peu près exclusivement son attention sur les pénéplaines, il ne faut pas oublier que ces termes (*plaine de dénudation marine* et *pénéplaine*) ne sont rien de plus, dans la majorité des cas, que des noms différents pour désigner la même chose. Si l'on connaissait entièrement la nature des faits, il se pourrait que l'un ou l'autre terme fût appliqué avec justesse à tel ou tel cas donné ; mais il est douteux que quelqu'un ait réussi à convaincre tout le monde qu'il soit capable de distinguer une plaine de dénudation marine d'une pénéplaine, ou inversement. D'autre part, toutes les régions qui ont été décrites jusqu'à présent comme ayant passé par la condition d'une plaine arasée ou dénudée devraient être regardées, si l'on admettait la théorie contraire de M. Tarr, comme n'ayant jamais pu acquérir une forme de faible relief. Aussi bien, ce point demande un examen approfondi, qui va maintenant nous occuper.

III

C 1. — *La théorie alternative tend plutôt à expliquer les formes actuelles de la Nouvelle-Angleterre que les formes des pénéplaines mieux caractérisées et mieux conservées.* — Il y a lieu de regretter qu'une théorie qui vise, d'après son auteur, à remplacer la théorie de la pénéplanation, ait été surtout mise à l'épreuve dans la Nouvelle-Angleterre, région dont les parties les plus élevées et les plus accidentées sont généralement regardées comme des exemples de groupes de monadnocks. Je ne suis nullement disposé à reconnaître que « les pénéplaines de la Nouvelle-Angleterre et du New Jersey sont celles qui ont été étudiées le plus à fond et qui reposent sur la base la plus solide » (p. 353). Le Sud de la Nouvelle-Angleterre aurait été un champ d'études très satisfaisant à cet égard, mais si l'on y adjoint les montagnes Blanches et les montagnes Vertes, ainsi que les montagnes du Maine, l'exemple qu'il s'agit d'interpréter excède considérablement l'objet propre de la pénéplanation. L'argument qu'on tire du Labrador (p. 366) comme région dont le témoignage serait défavorable à la pénéplanation de la Nouvelle-Angleterre me semble également à écarter. Cependant, si la théorie alternative de la « dissection poussée jusqu'à maturité » est réellement en état de remplacer la théorie de la pénéplanation, elle ne doit pas seulement suffire à rendre compte de la topographie accidentée de la Nouvelle-Angleterre, il faut encore qu'elle explique les nombreuses pénéplaines mieux caractérisées et mieux conservées des autres parties du globe, dont quelques-unes ont déjà été signalées.

C 2. — *De l'uniformité d'altitude des sommets dans les régions montagneuses.* — Dans les pays de montagnes, l'altitude des cimes tend à devenir grossièrement uniforme, grâce à la destruction plus rapide qu'entraînent à ces grandes hauteurs la violence des intempéries et l'absence d'un revêtement d'arbres et d'humus. Ce fait a été signalé par Penck¹ et par Dawson²; M. Tarr le reprend aujourd'hui pour son propre compte. C'est ainsi qu'ABC et ADE, dans la fig. 2, deviennent FGH et FJK. Le mécanisme du phénomène en question n'est pas envisagé d'une manière identique chez les trois auteurs; mais comme je n'ai pas le texte des deux premiers sous la main, je ne puis entrer dans le détail de la comparaison. La tendance à se rapprocher d'une

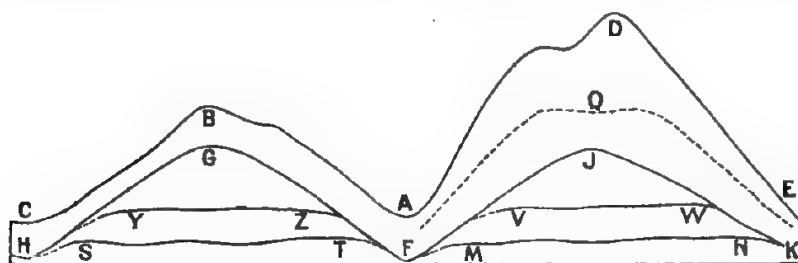


FIG. 2.

altitude uniforme, que révèlent, dans un groupe montagneux donné, nombre de pics de structure différente, peut parfois s'expliquer ainsi; tel paraît être le cas pour les Alpes et pour les Montagnes Rocheuses du Colorado. Mais si, d'un autre côté, l'on soutenait que cette apparence d'égalité (*subequality*) pourrait bien résulter de la dissection énergique d'une pénéplaine fortement relevée, la discussion deviendrait sans doute intéressante.

Une fois que cette égalité d'altitude est réalisée, les montagnes se trouvent dès lors soumises à des conditions climatiques sensiblement uniformes; et, pendant le reste de leur existence, ce seront les différences de structure qui détermineront le taux de leur destruction. Sans doute, tous les changements ne se produiront que très lentement, mais de très légères différences dans le taux de la désagrégation suffiront à déterminer des différences marquées d'altitude, grâce à la longueur des périodes pendant lesquelles les montagnes continueront à s'abaisser. C'est ainsi qu'on pourrait concevoir, par exemple, que le district montueux qui avoisine le lac Winnipiseogee, dans le New Hampshire, ait graduellement acquis ses caractères actuels. Mais il me semble extrêmement douteux qu'une uniformité d'altitude comme celle qu'on

1. A. PENCK, *Morphologie der Erdoberfläche*.

2. G. M. DAWSON, *Report on the area of the Kamloops map-sheet* (Geol. Survey of Canada, VII, 1894, B, 1896).

observe dans le Massachusetts central ne soit que l'héritage d'une égalité déterminée par les conditions climatiques d'une époque où la région se trouvait à une altitude beaucoup plus grande : aujourd'hui, en effet, ces plateaux se trouvent à 3 000 pieds environ au-dessous de la limite des arbres, et leur structure n'est nullement homogène.

C 3. — *Du rabotage des sommets.* — M. Tarr écrit que « quand la maturité des formes topographiques se trouvera réalisée, il y aura rabotage en biseau (*beveling*) des sommets, là où les hauteurs sont constituées par des roches dures, granitiques ou gneissiques » (p. 368). Je ne sais si dans ce paragraphe et dans les autres je donne de ce « rabotage » une interprétation correcte ; mais la pensée de M. Tarr me paraît être la suivante : le faite des reliefs serait aplani jusqu'à une certaine hauteur, de façon à imiter les larges plateaux qui caractérisent souvent les formes que je qualifie de pénéplaines soulevées et découpées. C'est-à-dire que la forme conique FJK ferait place à la forme surbaissée ou tronquée, FVWK. Des profils aplatis de ce genre sont certainement fréquents dans le Massachusetts central et occidental, ainsi que dans le New Jersey septentrional ; on les trouve beaucoup plus nettement développés encore dans des districts tels que la bande du Piedmont, en Virginie, la partie occidentale du Plateau central de la France et les plateaux schisteux de l'Allemagne occidentale. Le plateau largement nivelé FMNK représenterait la forme typique dans un certain nombre de ces exemples ; non seulement les anciennes montagnes ont été ainsi coupées en biseau, mais leurs parties culminantes se trouvent sensiblement comprises, d'une façon systématique et concordante, dans un seul plan, qui ordinairement est incliné. Il ne peut y avoir de doute sur le fait même du rabotage, tel que le révèlent les formes actuellement visibles dans un grand nombre de pénéplaines bien conservées, mais l'article de M. Tarr ne fournit pas des éclaircissements suffisants sur le mécanisme du phénomène, qu'il se contente d'affirmer. D'ailleurs, l'explication serait difficile à trouver, à moins de faire intervenir quelque agent particulièrement énergique, étant à la fois fonction de l'altitude et du climat, comme Richter l'a suggéré pour rendre compte du rabotage des fjelds de la haute Norvège, sous l'action des glaciers locaux¹. Mais n'est-il pas manifeste que le recours à de tels agents n'est applicable, dans la Nouvelle-Angleterre, qu'aux altitudes supérieures à 5 000 ou 6 000 pieds (Q, fig. 2) et que, par suite, ces agents ne sauraient avoir directement influé sur l'aplanissement des faîtes situés seulement à 1 000 pieds ou moins encore ? Dans les

1. ED. RICHTER, *Sitzungsberichte Akad. Wiss. Wien*, 1896. [Analysé dans *Ann. de Géog.*, VII, *Bibl. de 1897*, n° 414.]

pénéplaines soulevées, où la surface rasée des faites saute d'une vallée à l'autre, il est manifeste, comme on l'a déjà montré, que les énergies *actuelles* travaillent à la *destruction*, et non à la production ou à l'achèvement des plateaux. Et en vérité le rabotage des aires interfluviales, tel qu'on a essayé de l'expliquer ici, me semble si foncièrement impossible que tout ce paragraphe, j'en suis persuadé, doit être à côté de ce que M. Tarr a voulu dire, en formulant sa théorie. Et cependant, tant qu'elle n'aura pas élucidé d'une manière quelconque l'arasement systématique des faites, cette théorie restera impuissante à expliquer le trait fondamental des régions qu'on regarde d'ordinaire comme des plaines de dénudation soulevées et découpées.

Peut-être le changement de forme que M. Tarr désigne par le terme *beveling* ne s'applique-t-il qu'aux versants, de telle manière que FJK deviendrait FLK (fig. 3). S'il en est ainsi, nous sommes ramenés aux changements examinés dans le dernier paragraphe de la section C2, mais la disposition que j'appelle le rabotage des faites (*beveling of hill tops*) et que je viens d'examiner reste inexpliquée. J'espère que cette question sera traitée plus à fond par M. Tarr.

C4. — *La dénudation et le rabotage devraient être plus avancés près des côtes que dans l'intérieur.* — « Auprès de la côte, assure M. Tarr,



FIG. 3.

les montagnes doivent avoir été plus fortement abaissées que dans l'intérieur, et, dans la région côtière, le modelé peut fort bien s'être rapproché de la condition des pénéplaines (p. 366)». De même, ailleurs :

« ce rabotage des faites doit avoir été poussé beaucoup plus loin près de la côte que dans l'intérieur, ce qui coïncide avec les conditions observées dans la Nouvelle-Angleterre » (p. 368). L'énoncé très bref de ces importantes propositions laisse le lecteur quelque peu dans le doute au sujet de leur véritable sens : pour autant que j'en puis faire l'analyse, elles ne sont pas même applicables au cas de la Nouvelle-Angleterre, à plus forte raison aux différents autres cas cités plus haut.

Les anciennes directions tectoniques du Sud de la Nouvelle-Angleterre sont croisées obliquement par la ligne côtière du Long Island Sound. On ne constate dans les terrains constituant ces anciens reliefs à mesure qu'on se rapproche du littoral, aucune diminution de résistance, et l'on peut raisonnablement supposer que l'œuvre de dénudation à accomplir a été ici à peu près aussi considérable que plus au N. Depuis le Sud du New Hampshire, jusqu'à la côte, en passant par le centre du Massachusetts et le Connecticut il n'y a aucun indice

de changement dans le degré de cohésion des roches : un ensemble varié de gneiss et de schistes plus ou moins résistants apparaît sur toute l'étendue de cette région. Au voisinage de la côte, on ne peut pas faire intervenir une différence de climat comme cause d'une dénudation et d'un rabotage plus rapides, car le climat est plus rigoureux dans l'intérieur des terres. Les cours d'eau sont plus puissants et les vallées plus larges et plus basses auprès de la côte que dans l'intérieur, mais les plateaux qui séparent ces cours d'eau se trouvent soumis à des conditions sensiblement identiques dans les deux régions.

Si l'on suppose réalisée une certaine uniformité d'altitude des sommets montagneux, comme en H, A, B (fig. 4), il n'y a pas de raison pour que les intempéries s'exercent avec plus d'intensité, par pied

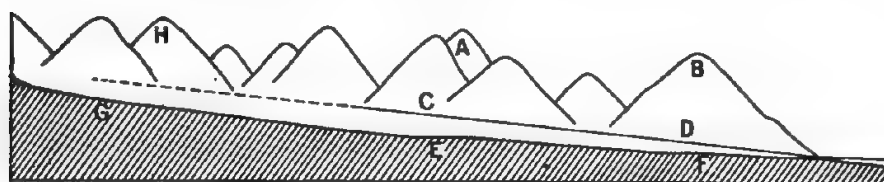


FIG. 4.

carré de surface, en B qu'en A. D'autre part, les cours d'eau principaux ayant acquis leur profil d'équilibre GEF, il n'y a pas de raison pour que la dénudation de A s'arrête à l'altitude C, à un millier de pieds au-dessus du cours d'eau, tandis que B est réduit à D, en s'abaissant jusqu'à une centaine de pieds seulement au-dessus du cours d'eau, ou moins encore. Tout cela m'amène à conclure que, si solides que puissent être les propositions énoncées au début de ce paragraphe, elles n'ont pas été formulées de façon à rendre cette solidité apparente. Les mouvements de bascule qui peuvent affecter une surface préalablement dénudée semblent un moyen relativement simple et sûr d'expliquer la disposition relative des plateaux et des fonds de vallées, représentés par CD et EF (fig. 4), comme on l'a montré plus haut (1^{er} article, A 6); or, ces mouvements de bascule ne trouvent point de place dans la théorie de M. Tarr! Que M. Tarr n'admette pas des mouvements de nature si banale, c'est ce qu'il y a de plus singulier, car enfin des mouvements multipliés, de nature quelconque, doivent évidemment caractériser une théorie qui « n'exige pas de longues périodes de calme relatif » (p. 369).

C 5. — *La Nouvelle-Angleterre et le New Jersey considérés comme des régions montagneuses découpées et parvenues à la maturité, puis rajeunies.* — M. Tarr soutient cette thèse que les régions spécialement

considérées ont été « abaissées jusqu'au stade de complète maturité, puis relevées et rendues plus accidentées ». Quoique la surface ait toujours été montagneuse, « elle était jadis, assure-t-il, moins montagneuse qu'aujourd'hui, à cause du soulèvement récent » (p. 365). Il y a diverses parties du globe auxquelles une pareille description pourrait s'appliquer : la maturité complète s'y traduit par la largeur des vallées des cours d'eau principaux (ABC, fig. 5), qui se sont développées en correspondance avec un ancien niveau de base MM ; et, d'autre part, le « soulèvement récent » ne se manifeste pas avec moins de netteté par l'étroitesse des gorges D, entaillées en harmonie avec un nouveau niveau de base NN, sur le plafond de la vallée antérieurement élargie pendant la phase de maturité, ABC. Le témoignage essentiel d'un soulèvement et d'un rajeunissement de ce genre doit être cherché dans les ressauts EF, qui interrompent la continuité des versants de la vallée AED et CFD. Si le rajeunissement s'était produit

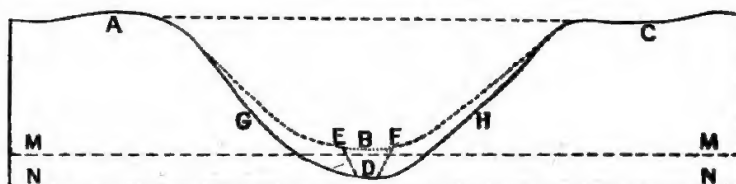


FIG. 5.

depuis assez longtemps pour que ces ressauts fussent détruits par le développement des pentes continues AGD et CHD, il ne resterait plus, dans la topographie, aucun indice d'un soulèvement. Ce sont des témoignages de ce genre qui ont permis de conclure à un rajeunissement dans le district de la Susquehanna (Appalaches de Pennsylvanie) et dans la vallée de l'Hudson. Mais, dans la Nouvelle-Angleterre, on n'a signalé aucun fait de même ordre, tendant à démontrer un rajeunissement analogue. Les profondes vallées d'un grand nombre de cours d'eau du Massachusetts et du Connecticut ne présentent pas de ressauts continus sur leurs versants, on n'a donc aucune raison palpable pour dire qu'un arrêt important soit intervenu dans le relèvement qui a remplacé l'ancien niveau de base des plateaux, AC, par le niveau de base actuel NN des vallées AGDHC. Les cours d'eau présentent à la vérité beaucoup de chutes et de rapides, mais il en faut chercher la cause dans les changements que l'accumulation irrégulière du *drift* glaciaire a infligés à leur allure, antérieurement régulière, et c'est là un tout autre sujet.

Les ressauts des versants constituent un élément important dans la présente discussion ; car leur présence, quand elle est nettement établie, permet de préciser un certain nombre de points inté-

ressants. Si ces ressauts sont situés très haut sur les versants de la vallée, comme en A (fig. 6), disposition qui rappelle la gorge du Rhin, ils montrent que le cycle antérieur avait depuis longtemps dépassé le stade de la maturité, et même atteint un degré avancé de vieillesse, lorsque se produisit le soulèvement. S'ils se trouvent très bas vers le fond de la vallée, comme en B (disposition qui rappelle la vallée du Fraser, dans la Colombie britannique), leur portée est insignifiante au point de la vue de la question qui nous intéresse en ce moment, car alors ils signifient peu de chose pour l'origine des plateaux. Si la pente longitudinale de ces terrasses est à peu près parallèle au profil actuel des cours d'eau, il y aura lieu de conclure à un soulevé-

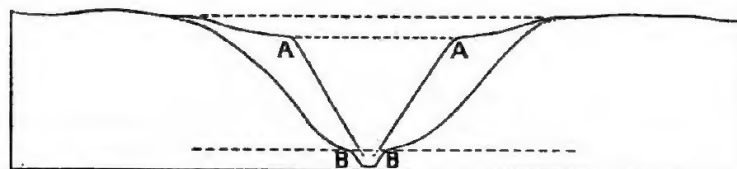


FIG. 6.

vement uniforme; si, au contraire, ce parallélisme n'est pas réalisé, on devra admettre un soulèvement irrégulier. Tous ces points devront recevoir l'attention qu'ils comportent, si la nouvelle hypothèse, qui « n'exige pas de longues périodes de calme relatif », veut se faire accepter. Mais, ainsi que je viens de l'exposer, le rajeunissement récent de la Nouvelle-Angleterre paraît très douteux. L'hypothèse d'un soulèvement n'est pas confirmée le long du littoral, comme elle devrait l'être, par la présence d'une plaine côtière récente, à moins d'envisager ainsi la plaine côtière post-glaciaire du Maine; mais on n'est guère fondé à invoquer ce témoignage, car les vallées actuelles ont été creusées avant que cette plaine fût formée.

C 6. — *L'hypothèse alternative ne tient pas compte des pénélaines ensevelies.* — L'hypothèse de M. Tarr, qui « n'exige qu'une surface fortement réduite, mais présentant encore des inégalités sensibles » (p. 370), est absolument impuissante à expliquer le cas des pénélaines bien conservées comme celle qui correspond à la bande du Piedmont Virginien, et plus encore à rendre compte des pénélaines ensevelies, telles qu'on en a décrit plusieurs précédemment. Le premier exemple mentionné, celui du socle aplani sur lequel reposent les roches carbonifères dans le Grand Cañon du Colorado, est entièrement hors de la portée d'une théorie qui ne permet pas de pousser la dénudation subaérienne au delà du stade correspondant à la maturité. Veut-on

chercher un refuge dans la théorie de l'abrasion marine, les différents exemples signalés en France et en Bohême, où l'abrasion marine se trouve exclue, restent à expliquer. Il faut donc le répéter encore : il y a lieu de regretter qu'une théorie qui vise à supplanter la théorie de la pénéplanation ait été forgée surtout pour rendre compte de la configuration de la Nouvelle-Angleterre et du New Jersey, régions passablement accidentées, et sans qu'on ait accordé une attention suffisante aux nombreux autres exemples de pénéplaines plus typiques, ensevelies ou découvertes, dont les travaux des géologues et géographes contemporains fournissent de nombreuses descriptions ¹.

Cannes, décembre 1898.

W. M. DAVIS,

Professeur à l'Université Harvard,
Cambridge (Massachusetts).

1. Je dois de vifs remerciements, pour l'aide qu'ils m'ont prêtée dans la préparation de cet article, à mes collègues géographes ou géologues d'Edimbourg, Londres et Paris. L'article ayant été écrit dans le Midi de la France, il m'a été impossible de citer, avec autant de précision que je l'aurais voulu, certains exemples typiques. Aussi bien, j'aurai peut-être l'occasion d'y revenir, si je suis appelé, par la continuation de cette polémique, à examiner plus à fond l'idée de pénéplaine.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIER ARTICLE

	Pages.
INTRODUCTION	5
A 1. — Certaines régions ne présentent pas trace de pénéplanation.	8
A 2. — Les hauteurs de la Nouvelle-Angleterre et du Nord du New Jersey ne sont point d'une altitude uniforme	9
A 3. — Les restes de certaines pénéplaines sont fragmentaires	10
A 4. — Certaines prétendues pénéplaines sont aujourd'hui inclinées	11
A 5. — Objections fondées sur l'état fragmentaire de certaines pénéplaines (suite)	12
A 6. — Le prétendu désaccord entre la forme des pénéplaines et la structure du sous-sol n'est pas prouvé	17
A 7. — Il n'est pas prouvé que les roches des monadnocks soient plus résistantes que celles de la pénéplaine adjacente.	18

SECOND ARTICLE

B 1. — Il n'existe pas actuellement de pénéplaines dont l'altitude soit très voisine du niveau de base.	20
B 2. — L'écorce terrestre ne saurait demeurer en repos assez longtemps pour permettre aux agents de dénudation de produire une pénéplaine.	22
B 3. — Aucune partie du globe ne manifeste une tendance à se rapprocher de la condition d'une pénéplaine	25
B 4. — Les témoignages stratigraphiques sont contraires à l'existence des pénéplaines	27
B 5. — Les critiques formulées par M. Tarr s'appliquent aux plaines d'abrasion marine aussi bien qu'aux plaines de dénudation subaérienne	31
C 1. — La théorie alternative tend plutôt à expliquer les formes actuelles de la Nouvelle-Angleterre que les formes des pénéplaines mieux caractérisées et mieux conservées.	32
C 2. — De l'uniformité d'altitude des sommets dans les régions montagneuses	33
C 3. — Du rabotage des sommets.	34
C 4. — La dénudation et le rabotage devraient être plus avancés près des côtes que dans l'intérieur	35
C 5. — La Nouvelle-Angleterre et le New Jersey considérés comme des régions montagneuses découpées et parvenues à la maturité, puis rajeunies.	36
C 6. — L'hypothèse alternative ne tient pas compte des pénéplaines ensevelies	38